

ドナー/アクセプター界面におけるエネルギー構造が キャリア挙動に与える影響の解析

Analysis on the Effect of Donor/Acceptor Interfacial Energetics on Carrier Dynamics

○真弓 智裕^{1,2}、中野 恭兵²、伊澤 誠一郎²、鈴木 かおり²、橋本 和仁¹、但馬 敬介^{2,3}

(1. 東大院工、2. 理研 CEMS、3. JST さきがけ)

○Tomohiro Mayumi^{1,2}, Kyohei Nakano², Seiichiro Izawa², Kaori Suzuki², Kazuhito Hashimoto¹,

Keisuke Tajima^{2,3} (1.Univ. Tokyo, 2.RIKEN CEMS, 3.JST-PRESTO)

E-mail: mayumi@light.t.u-tokyo.ac.jp

ドナー/アクセプター(D/A)界面における高い電荷分離効率と再結合の抑制は有機薄膜太陽電池の変換効率の向上につながる。しかし、界面構造と電荷キャリア挙動との関係に関する知見は少ない。その原因として解析に適した分子混合のない界面を作製するのが困難なこと、素子内部に隠れた界面を直接観測できないことが挙げられる。本研究では薄膜転写法によって分子混合のない平滑な界面を作製し、インピーダンス分光法によってキャリアの挙動を解析した。さらに、表面偏析単分子層によってD/A界面のエネルギー構造を制御し、キャリア挙動への影響を調べた。

ドナー材料に P3HT、アクセプター材料に PCBM を用いた二層型素子を作成し、光照射下、開放電圧(V_{oc})下においてインピーダンス分光を行った(Fig.(a))。その結果、RC 回路の時定数の違いにより、D/A 界面の成分をそれ以外の要素と分離でき、界面におけるキャリアの蓄積と再結合過程を観測することに成功した。本測定で再結合過程を観測したことは、時定数が過渡電圧測定から求めたキャリア寿命に一致することで確認できた。次に、アクセプターの D/A 界面第一層における LUMO のエネルギーがバルクよりも高い、カスケード構造[1](Fig.(b))を持つ素子を解析した。その結果、通常のエネルギー構造を持つ素子よりもキャリア寿命が長くなり、再結合が抑制されることが分かった。一方で、興味深いことに容量が通常の素子と比較して減少した(Fig.(c))。二層型素子は D/A 界面を隔てて電子と正孔が空間的に分離して分布するため、平行平板キャパシタとのアナロジーで容量を解析できる。カスケード構造では定常状態において D/A 界面第一層の電子密度が大幅に減少し、平行平板キャパシタとみなした時の電子-正孔間の実効距離が長くなり、容量が減少したと考えられる。容量が界面近傍のキャリア分布を反映することは、D/A 界面に 1 nm 程度の絶縁層を挟んだ素子を解析すると、絶縁層のない素子と比較して容量が減少したこと、絶縁層が厚いほど容量が減少したことで確認できた。さらに、開放電圧下でのキャリア分布を指数関数で表すモデルを用いて容量を計算したところ、定量的に容量の変化を再現することが出来た。

以上の結果からインピーダンス分光法は D/A 界面における再結合過程、定常状態におけるキャリア分布を調べるのに有用な解析法であると示した。また、エネルギーのカスケード構造では定常状態において D/A 界面第一層の電子密度が減少すると分かった。そのため、再結合が抑制され、電荷分離効率が高く、変換効率向上に向けて重要な構造であると言える。(Fig.(d))。

[1] Izawa, S., et al., Adv. Mater., 2015, 27(19): 3025-3031.

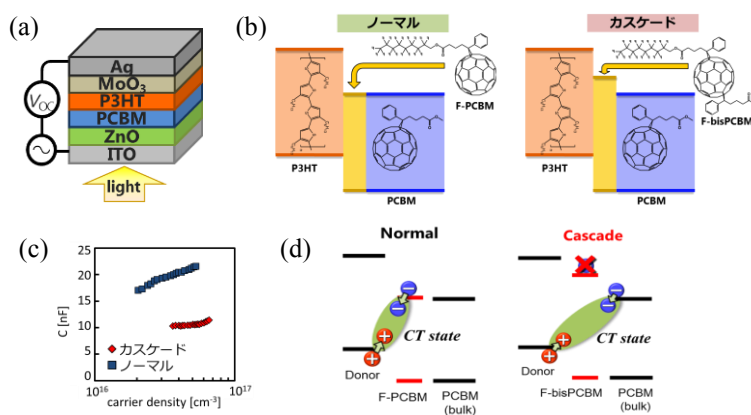


Fig. (a)デバイス構造とインピーダンス分光測定条件 (b)カスケード構造のエネルギー図 (c)カスケード構造と通常の素子の容量の比較 (d)カスケード構造のキャリア挙動への影響